

УДК 911.9 [502.36 : 911.375]

*Самойленко В.М., Корогода Н.П.*

*Київський національний університет імені Тараса Шевченка*

## **КРИТЕРІЇ РІВНЯ ПРИРОДНО-КАРКАСНОЇ ЗНАЧУЩОСТІ ТА СТАНУ ОБ'ЄКТІВ МОДЕЛЮВАННЯ ЕКОМЕРЕЖІ В РІЧКОВИХ БАСЕЙНАХ**

*Ключові слова:* екомережа, геоінформаційне моделювання, критерії рівня природно-каркасної значущості та стану

**Стан проблеми.** При геоінформаційному моделюванні екомереж, як було зазначено раніше [4], досить важливим є питання визначення критеріїв ідентифікації елементів екомережі. Проте окрім критеріїв ідентифікації, змодельовані елементи, повинні відповідати також і критеріям рівня природно-каркасної значущості та стану об'єктів моделювання екомережі, які висуваються таким чином, щоб дані елементи могли виконувати функції екомережі, з огляду на можливість її тривалого функціонування.

**Постановка завдання.** Зазначені критерії, є необхідними для використання на всіх масштабних рівнях проектування, проте вони розроблялись і перевірялись головним чином для регіональної екомережі [4], тому потребували певної адаптації для міжрегіонального і локального рівнів.

**Основні результати.** Для вирішення головного завдання, тобто для визначення критеріїв рівня природно-каркасної значущості та стану об'єктів моделювання нами в [4] були обґрунтовані і розроблені критерії фазової та параметричної стійкості модельних об'єктів для регіонального рівня моделювання, причому ці критерії цілком прийнятні і на інших рівнях, набуваючи лише певної специфіки.

При вирішенні часткового завдання – *розробці критеріїв фазової стійкості об'єктів моделювання* – згідно зі змістом такої стійкості, та наявністю двох її складників – фазово-антропоізаційної та фазово-етологічної стійкості, ми виходили з наступних міркувань і побудов.

**Фазово-антропоізаційна стійкість** об'єктів моделювання екомережі (головним чином квазігеосистем БЛТС і/або можливих, остаточних чи імперативних елементів екомережі) як перший складник фазової стійкості обумовлюється ступенем антропоізації таких модельних об'єктів і віддзеркалює міру їх "залишкової" здатності до саморегуляції. Таким чином, за загальний змістовно-функціональний запис індексу рівня стану об'єктів моделювання за ознаками їх фазово-антропоізаційної стійкості або, скорочено, **індексу фазово-антропоізаційної стійкості об'єктів моделювання ( $I_{FAS,j}$ , %)**

може правити співвідношення

$$I_{FAS,j} = 100 - I_{ant,norm,j}, \quad (1)$$

де  $I_{ant,norm,j}$  – певним чином обумовлений, унормований (у відсотках, з максимальним значенням 100%) індекс антропізації об'єктів моделювання.

Для визначення останнього можна скористатися відповідною методикою П.Г.Шищенка [6] з такими певними її модифікаціями.

По-перше, за індекс  $I_{ant,norm,j}$  доцільно прийняти запропонований П.Г.Шищенком коефіцієнт антропогенної перетвореності ландшафтів  $K_{ant,j}$ , а проте унормований для його змінності до 100% ( $K_{ant,norm,j}$ ), тобто

$$I_{ant,norm,j} \equiv K_{ant,norm,j} = K_{norm} \sum_{i=1}^n (r_i q_i p_i), \quad (2)$$

де  $r_i$  – значення рангу антропогенної перетвореності  $j$ -го об'єкта моделювання за  $i$ -тим видом природокористування;  $q_i$  – значення індексу глибини антропогенної перетвореності (практично ідентичного оцінці ступеня впливу заданих антропогенних факторів);  $p_i$  – частка площі  $j$ -го об'єкта (у %), що підпала під  $i$ -тий вид природокористування;  $K_{norm}$  – нормувальний коефіцієнт ( $K_{norm} \approx 4,938 \cdot 10^{-2}$ );  $n$  – кількість видів природокористування в межах  $j$ -го об'єкта моделювання.

За такої модифікації запису індексу  $I_{ant,norm,j}$  та за інтервально розширеними вихідними показниками методики [6], цей індекс буде змінюватися від 2-8% (об'єкти моделювання, територія яких повністю належить природно-заповідному фонду) до 90-100% (об'єкти, територія яких є суцільним кар'єрно-відвальним утворенням тощо).

По-друге, визначення складників  $r_i$  і  $q_i$  унормованого індексу антропізації моделі (2) за [6] є прийнятним для обраних об'єктів моделювання, а проте з певними доповненнями та шляхом інтервального подавання добутку цих складників, результати чого і наведені у табл.1.

З огляду на останнє, слід зазначити, що подавання значень добутку  $(r \cdot q)_i$  у інтервальному та усередненому варіантах уявляється доцільним і виправданим з метою створення можливості додаткового врахування певних "внутрішньовидових" за природокористуванням відмінностей у впливі цього користування на ступінь перетвореності визначених об'єктів моделювання. За доказ такої доцільності може правити необхідність диференційованого врахування, хоча і в межах одного виду природокористування за табл.1, різної "ролі" у антропізації об'єктів, наприклад, певних сівозмін і способів чи інтенсивності обробки орних земель, категорії автотранспортних магістралей і забудови, видів догляду за лісом тощо. У цілому додаткове детальне категорювання всіх щойно зазначених відмінностей має скласти предмет окремого дослідження і обґрунтування, наразі ж, за неможливості такого категорювання для певних видів природокористування, можна обирати лише відповідні усереднені або граничні для інтервалів значення  $(r \cdot q)_i$  за табл.1.

Такі інтервальні та усереднені значення  $(r \cdot q)_i$  є коректними для застосування як для міжрегіонального (загальнобасейнового) рівня так і для регіонального. На локальному ж рівні проектування, оскільки інформація про

**Таблиця 1. Інтервальні та усереднені значення добутку  $(r \cdot q)_i$  у моделі (2) унормованого індексу антропоїзації об'єктів моделювання в залежності від видів природокористування (на основі методики П.Г.Шищенко [6] з нашими модифікаціями і доповненнями)**

Належність площ (часток площ) об'єктів моделювання до <sup>1)</sup> :	Інтервальні та усереднені значення $(r \cdot q)_i$
1) природно-заповідного фонду *	0,46-1,55; 1,00
2) об'єктів лісового господарства *	1,56-2,70; 2,13
3) заболочених земель *	2,71-3,95; 3,33
4) пасовищ і сінокосів *	3,96-5,30; 4,63
5) садів і виноградників	5,31-6,75; 6,03
6) орних земель	6,76-8,30; 7,53
7) об'єктів сільської забудови * <sup>2)</sup>	8,31-9,95; 9,13
8) об'єктів міської та селищної (міського типу) забудови * <sup>2)</sup>	9,96-11,70; 10,83
9) водогосподарських, гідротехнічних і меліоративних об'єктів, а також природоохоронних споруд тощо	11,71-13,80; 12,76
10) об'єктів транспорту	13,81-16,05; 14,93
11) промислових об'єктів	16,06-18,15; 17,10
12) об'єктів видобування корисних копалин	18,16-20,25; 19,20
<sup>1)</sup> при збігу декількох з 1)-12) видів природокористування обирається вид з найбільшим значенням $(r \cdot q)_i$	
<sup>2)</sup> включаючи поєднані з ними об'єкти відповідної господарської інфраструктури, не вирізнені в 1)-12) видах природокористування	
* з введенням збільшувальних коефіцієнтів за одночасної належності площ (часток площ) до територій:	
– організованої рекреації	1,10
– неорганізованої рекреації	1,05

природокористування в регіоні повинна бути більш детальною, то і такі значення мають бути розкриті більш детально, зокрема, як приклад, можна навести значення, розроблені в роботі [3], представлені в табл. 2.

**Таблиця 2. Інтервальні та усереднені значення добутку  $(r \cdot q)_i$  у моделі (2) унормованого індексу антропоїзації об'єктів моделювання в залежності від видів природокористування для малих урболандшафтних басейнових геосистем (МУБГ)**

Типи урбофункціональних підсистем в межах МУБГ	Інтервальні та усереднені значення $(r \cdot q)_i$
Природоохоронна	(0-10]; 5
Полірекреаційна	(10-20]; 15
Меморіально-культурна	(20-30]; 25
Агро виробнича	(30-40]; 35
Культурно-освітня	(40-50]; 45
Громадсько-адміністративна	(50-60]; 55
Житлова	(60-70]; 65
Транспортна	(70-80]; 75
Складська	(80-90]; 85
Промислова	(90-100]; 95

Такі значення зокрема можуть бути використані для територій малих урболандшафтних басейнових геосистем, які є «найбільш складними» для моделювання екомереж, про що більш детально йдеться в праці [3].

По-третє, дотримуючись загальної логіки і критеріїв вирішення декількох інтервалів шкали (категорій) перетвореності ландшафтів за методикою [6] (від слабо до сильно перетворених) та зважаючи на граничні інтервали табл.1, 2, можна запропонувати за значеннями індексу  $I_{FAS,j}$  моделі (1) і відповідні **категорії фазово-антропоїзаційної стійкості об'єктів моделювання** екомережі різних територіальних рівнів як категорії здатності цих об'єктів до саморегуляції, наведені у табл.3. Безпосередньо рівень стану певних об'єктів моделювання при цьому кваліфікується, наприклад, як "можливе природне ядро екомережі з послабленою, або середньою, або сильною і т.ін. здатністю до саморегуляції" тощо.

*Таблиця 3. Категорійно-класифікаційна схема рівнів стану об'єктів моделювання за ознаками їх фазово-антропоїзаційної стійкості (здатності до саморегуляції)*

Значення індексу фазово-антропоїзаційної стійкості $I_{FAS,j}$ за (1) (%)	Здатність до саморегуляції
< 11,0	гранично слабка
11,0 – 25,9	вельми слабка
26,0 – 34,9	слабка
35,0 – 46,9	послаблена
47,0 – 61,9	середня
62,0 – 85,9	сильна
≥ 86,0	вельми сильна

У цілому, задавшись, крім іншого, певним "порогом" фазово-антропоїзаційної стійкості, можна, наприклад, ітераційно уточнювати конфігурацію природних ядер екомережі (на будь-якому територіальному рівні), аж до повного виключення їх зі складу можливих елементів екомережі, а також оцінювати реальність існування можливих екокоридорів тощо.

**Фазово-етологічна стійкість** об'єктів моделювання екомережі як другий складник фазової стійкості відображає стійкість змодельованої за основними елементами екомережі у цілому за сформованістю (зв'язністю) такої її територіальної структури, а тому, на перший погляд, могла б визначатися за запропонованими у [5] **чотирма топологічними індексами**, які є застосовними на всіх рівнях моделювання, зокрема про застосування цих індексів для створення екомереж міжрегіонального рівня йшлося в праці [5], для регіональної екомережі – в роботі [4], проведені нами дослідження говорять про цілком можливе застосування даних індексів і для проектування екомереж локального рівня.

Ці індекси характеризують екомережу, подану як граф (у вигляді графічної або картографічної моделі [1]), у якому за вершини правлять можливі чи імперативні природні ядра, а за ребра – відповідні екокоридори. Слід зауважити, що такий граф у вигляді картографічної моделі може одночасно інтерпретуватися за методологією ГІС ([2]) як лінійний

просторовий об'єкт високого рівня – мережа (далі, скорочено, "ГІС-мережа") – де, знову-таки, за вузли мережі (вершини графа) правлять ядра, а за дуги чи зв'язки між вузлами (ребра графа) – екокоридори. При цьому міра загальної сформованості екомережі має у прямій залежності ототожнюватися із певними мірами зв'язності її графа (вузлів мережі як просторового об'єкта ГІС), а у якості зазначених топологічних індексів зазвичай використовують з відповідною інтерпретацією (за [5] та враховуючи топологічний їх зміст у ГІС за [2]) такі індекси, як:

1) **гамма-індекс ( $\gamma_{In}$ )**, який є відношенням числа змодельованих екокоридорів (тобто ребер графа або кількості зв'язків між парами вузлів "ГІС-мережі") ( $E$ ) до "топологічно" максимального такого числа ( $E_{max,top}$ ). Визначення "'топологічно" максимальний" в даному випадку означає врахування геть усіх можливих зв'язків між вузлами (вершинами, ядрами), незважаючи на перетин таких зв'язків, можливість їх існування і т.ін., що аналогічним чином стосується і всіх наступних величин з таким визначенням. Гамма-індекс загалом безпосередньо відображає міру поєднання природних ядер екокоридорами і, наслідково, міру альтернативності вибору кількості шляхів міграції з кожного ядра. При мінімальному значенні  $\gamma=0$  екокоридори взагалі відсутні, а при "топологічно" максимальному значенні  $\gamma=1$  оперують з "топологічно" максимальною їх кількістю. Власне ж формула гамма-індексу має вигляд

$$\gamma_{In} = E / E_{max,top} = E / \{3 (V - 2)\} \quad \forall \gamma_{In} \in (0, 1) , \quad (3)$$

де  $V$  – кількість природних ядер (тобто кількість вершин графа або вузлів "ГІС-мережі");

2) **альфа-індекс ( $\alpha_{In}$ )**, який являє собою відношення наявного в структурі екомережі числа циклів (тобто контурів альтернативних маршрутів "ГІС-мережі") ( $n_{cyc}$ ) до "топологічно" максимального такого числа ( $n_{cyc,max,top}$ ). Альфа-індекс ([1]) у цілому безпосередньо відображає наявність і міру насиченості мережі циклами і чим більше його значення, тим більше альтернативних маршрутів міграції між природними ядрами, а отже більш стійкою за сформованістю структури має бути екомережа. "Топологічний" максимум альфа-індексу становить  $\alpha=1$ , а його складники і сам він визначається за формулами

$$n_{cyc} = E - (V - 1) , \quad (4)$$

$$n_{cyc,max,top} = E_{max,top} - (V - 1) = 2V - 5 , \quad (5)$$

$$\alpha_{In} = n_{cyc} / n_{cyc,max,top} = (E - V + 1) / 2V - 5 \quad \forall \alpha_{In} \in (0, 1) ; \quad (6)$$

3) **бета-індекс ( $\beta_{In}$ )**, який у цілому віддзеркалює розвиненість екомережі за наявністю в ній екокоридорів. При  $\beta_{In}<1$  ця мережа характеризується відсутністю циклів, а при "топологічному" максимумі  $\beta_{In}=3$  є "топологічно" максимально насиченою циклами (тобто контурами альтернативних маршрутів), коли кожне ядро безпосередньо зв'язане з абсолютно усіма іншими ядрами. Власне бета-індекс визначається за залежністю



$$\beta_{In} = E / V \quad \forall \gamma_{In} \in (0, 3) , \quad (7)$$

і функціонально пов'язаний з тим же гамма-індексом співвідношенням

$$\beta_{In} = (E_{max,top} / V) \gamma_{In} , \quad (8)$$

що за змістом стосується і альфа-індексу;

4) **епсilon-індекс** ( $\epsilon_{In}$ ), застосування якого, на думку авторів [5], доцільне для екомереж з наявністю певної кількості ізольованих ядер, позаяк сам індекс як показник дефіциту графа відображає міру "віддаленості" екомережі від найменш зв'язної при  $\epsilon_{In}=1$ , зважаючи на те, що формула цього індексу має вигляд

$$\epsilon_{In} = E / (V - 1) . \quad (9)$$

Остання залежність засвідчує знову-таки існування функціонального зв'язку епсilon-індексу з гамма-індексом за формулою

$$\epsilon_{In} = \{E_{max,top} / (V - 1)\} \gamma_{In} , \quad (10)$$

або з бета-індексом за формулою

$$\epsilon_{In} = \{V / (V - 1)\} \beta_{In} . \quad (11)$$

Аналізуючи ефективність поданих вище показників з огляду на застосовність їх до оцінювання фазово-етологічної стійкості екомережі у цілому, слід зазначити таке.

По-перше, зважаючи на зміст елементів, конфігурацію та зв'язність екомережі з позицій топології і беручи до уваги насамперед задану незмінну кількість природних ядер (наприклад, змодельованих можливих ядер і існуючих відокремлених ядер у вигляді об'єктів природно-заповідного фонду) та варіаційну кількість неперетнутих екокоридорів, можна оперувати з такими двома територіальними структурами екомережі, як:

1) максимально поєднаною у біоландшафтному аспекті структурою (**базовою структурою**), тобто тією, що отримують при поєднанні всіх заданих ядер усіма можливими екокоридорами, зважаючи лише на природну підсистему БЛТС та всі відповідні цьому критеріальні вимоги до вибору екокоридорів ([4,5]);

2) максимально можливою у біоландшафтно-екологічному аспекті структурою (**реальною структурою**), яку отримують при спільному розгляді не тільки природної, а й антропогенної (та природно-антропогенної) підсистем БЛТС і регіону у цілому, виключаючи з базової структури екомережі ті екокоридори, які на момент оцінки за будь-яких умов не задовольняють вищезгаданим критеріальним вимогам до їх вибору через негативний або обмежувальний вплив зазначеної антропогенної підсистеми (тобто залишаючи у структурі "реальні" або фактичні екокоридори).

По-друге, лише саме певні співвідношення елементів щойно охарактеризованих реальної та базової структур екомережі і будуть змістовно відбивати її реальну (фактичну) сформованість (зв'язність) з метою оцінювання фазово-етологічної стійкості. Жодний же із розглянутих раніше топологічних індексів не відповідає цій умові за змістом, маючи до того ж і інші вади. Поставленим же умовам порівнянності реальної та базової

структур можуть відповідати передусім два досить простих показника, названі нами **регіональними топологічними індексами сформованості(зв'язності) реальної територіальної структури екомережі** ([4]). Ці показники були використані для моделювання регіональної екомережі, проте є цілком придатними для моделювання міжрегіональних та локальних екомереж. Перший з них – **"екокоридорний" індекс сформованості екомережі** ( $I_{coh,reg,1}$ , у %) – власне і відбиває відсоткове співвідношення числа фактичних екокоридорів реальної структури ( $E_{real}$ ) до числа можливих екокоридорів базової ( $E_{prob}$ ), тобто

$$I_{coh,reg,1} = 100 (E_{real} / E_{prob}) . \quad (12)$$

Другий індекс – **"цикловий" індекс сформованості екомережі** ( $I_{coh,reg,2}$ , у %) – являє собою відсоткове співвідношення числа фактичних циклів (контурів альтернативних маршрутів) реальної структури екомережі ( $n_{cyc,real}$ ) до числа таких циклів у базовій структурі ( $n_{cyc,prob}$ ), тобто

$$I_{coh,reg,2} = 100 (n_{cyc,real} / n_{cyc,prob}) . \quad (13)$$

За максимуми обох запропонованих індексів, зрозуміло, правлять 100% за умови повної ідентичності реальної та базової структур екомережі, при цьому величина "відсотка доповнення" індексів до 100% свідчитиме про міру "втрати" зв'язності реальною структурою екомережі внаслідок антропоїзації території її місцезнаходження.

Крім того, аналогічно до  $I_{FAS,j}$  моделі (1) (див. табл.3) і у першому наближенні, за усередненим значенням обох індексів (12)-(13)  $\{(I_{coh,reg,1} + I_{coh,reg,2})/2\}$  можна запропонувати і відповідні **категорії фазово-етологічної стійкості екомережі у цілому** як категорії міри сформованості (зв'язності) актуальної територіальної структури екомережі, наведені у табл.4. Рівень стану екомережі при цьому кваліфікується, наприклад, як "екомережа із поганою, доброю і т.ін. сформованістю (зв'язністю) територіальної структури".

**Таблиця 4. Категорійно-класифікаційна схема рівнів стану змодельованої екомережі за ознаками її фазово-етологічної стійкості (сформованості (зв'язності) територіальної структури)**

Середнє значення регіональних "екокоридорного" та "циклового" індексів сформованості екомережі (12)-(13) $\{(I_{coh,reg,1} + I_{coh,reg,2}) / 2\}$ (%)	Сформованість (зв'язність) територіальної структури
< 20,0	дуже погана
20,0 – 29,9	погана
30,0 – 49,9	незадовільна
50,0 – 69,9	задовільна
70,0 – 79,9	вельми задовільна
80,0 – 89,9	добра
≥ 90,0	дуже добра

Слід одразу зазначити, що індекси (12)-(13) характеризують саме зазначений вид стійкості екомережі за основними елементами її каркаса – природними ядрами (включаючи ядра об'єктів ПЗФ) та екокоридорами, і зміну цієї характеристики можна відстежувати у часі після реалізації проекту створення екомережі. Про оптимізацію ж структури екомережі доцільно вести мову, зважаючи і на інші її елементи – зони потенційної ренатуралізації, майбутнє перетворення яких у "повноважні" ядра і/чи екокоридори шляхом реалізації екоореабілітаційних і інших природоохоронних заходів здатне істотно поліпшити міру сформованості структури екомережі. Останньому може також істотно сприяти обґрунтоване доповнення елементів регіональної структури елементами локальних структур екомереж [5], а також "добудова" і узгодження екокоридорів із сусідніми регіонами тощо. Саме з таких позицій і слушно аналізувати оптимальність сформованості територіальної структури екомережі.

Наступне часткове завдання – *обґрунтування і розробка критеріїв параметричної стійкості модельних об'єктів*, що також є прийнятними для моделювання екомереж різних територіальних рівнів, за складниками цієї стійкості – може бути вирішене в загальних рисах таким чином.

З одного боку, за змістом першого складника зазначеної стійкості – *параметрично-процесової стійкості* – останню стійкість у першому наближенні можна чисельно оцінювати для квазігеосистем БЛТС, передусім як можливих і/або остаточних та імперативних елементів екомережі, за певним **індексом параметрично-процесової стійкості** ( $I_{PPSi,j}$ ) (у %), індивідуальним для кожного заданого  $i$ -того еконегативного для біоландшафтного різноманіття структуротворного процесу у цих квазігеосистемах. Такий індекс матиме загальний символічний запис

$$I_{PPSi,j} = 100 - I_{INTi,j} , \quad (14)$$

де  $I_{INTi,j}$  – середньовиважена за відповідними площами  $j$ -тої квазігеосистеми БЛТС інтенсивність певного зазначеного  $i$ -того еконегативного процесу (наприклад, ерозійного, зсувного, забруднювального тощо) (у %), подана через значення її репрезентативних розрахункових параметрів таким чином, що власне її значення змінюються від близьких до 0 (найменша інтенсивність процесів) до близьких до 100% (найбільша інтенсивність).

При цьому:

–  $I_{PPSi,j}$  можна класифікаційно категорувати за діапазонами зміни  $I_{INTi,j}$ , аналогічно до підходів, застосованих до побудови табл. 1- 4, запровадивши відповідні категорії рівнів стану об'єктів моделювання за ознаками їх параметрично-процесової стійкості як для кожного обраного процесу, так, можливо, і інтегрально. Тобто, наприклад, категорійний інтервал найменшої за інтенсивністю площинної ерозії буде відповідати категорії "вельми достатня параметрично-процесова стійкість" і т.ін.;

– для доведення задачі категорійної параметризації формули (14) "до числа" доцільно скористатися наявними розробками з відповідної параметризації, наведеними, наприклад, у [6] тощо;



– принциповим для вибору складників правої частини моделі (14) є необхідність чіткого визначення зі складом зазначених вище еконегативних процесів в аспекті виду впливу їх саме на біоландшафтне різноманіття, у т.ч. залучаючи для цього аналіз впливу цих процесів на підсилення чи обмеження певних природно-соціально-економічних функцій обраних об'єктів моделювання. Мається на увазі, наприклад, те, що ті ж інтенсивні процеси підтоплення і/або періодичного затоплення заплавних геосистем, які "традиційно", за антропоцентричного підходу, відносять до небажаних, сприяють формуванню і стійкому функціонуванню водно-болотних угідь як осередків біорізноманіття, що зазвичай охороняються і зберігаються не тільки на регіональному, а й на більш високих "природоохоронних" рівнях. У цьому ж аспекті наразі немає однозначних тлумачень можливих наслідків впливу радіоактивного забруднення на біовиди та асоціації рослин і т.ін.; – певні значення індексу параметрично-процесової стійкості слід застосовувати як у якості обмежень на вибір елементів можливого каркаса екомережі, так і для планування визначених природоохоронних заходів тощо.

З іншого боку, стосовно другого складника – **параметричної структурно-функціональної стійкості** екомережі у цілому, у т.ч. за її основними елементами, – можна зазначити таке.

По-перше, для оцінки параметричної структурно-функціональної стійкості шляхом характеристики розвиненості екомережі за її базовими елементами стосовно всієї території проектування слушно початково скористатися певними ефективними метричними показниками екомережі, як вже розробленими, так і новими за змістом.

При цьому додатковими вимогами до вигляду таких показників, крім загальної вимоги – характеризувати розвиненість екомережі як ознаку її структурно-функціональної стійкості, є:

- створення можливості зіставлення розвиненості екомереж різних регіонів або певних підсистем екомережі одного регіону;
- прийнятність для використання при оцінюванні ефективності функціонування екомережі.

З огляду на зміст таких вимог, доцільно застосовувати певні **метричні показники екомережі** (знову ж таки однакові на всіх рівнях проектування), як із складу вже запропонованих авторами, для міжрегіонального рівня [5], у т.ч. удосконалених нами для регіонального рівня, так і новими за структурою, а саме:

1) вже запропонований **індекс відносної площі природних ядер ( $I_{S,ncore}$ )**, і додані нами, аналогічні за змістом: **індекс відносної площі екокоридорів ( $I_{S,ecor}$ )** і **індекс відносної площі буферних зон ( $I_{S,buffer}$ )** за формулами

$$I_{S,ncore} = \left( \sum_{i=1}^{n_{ncore}} s_{ncore,i} \right) / S_{reg} , \quad (15)$$

$$I_{S,ecor} = \left( \sum_{j=1}^{n_{ecor}} s_{ecor,j} \right) / S_{reg} , \quad (16)$$

$$I_{buffz} = (\sum_{k=1}^{n_{buffz}} s_{buffz,k}) / S_{reg} , \quad (17)$$

де  $s_{ncore,i}$  – площа  $i$ -того природного ядра;  $s_{ecor,j}$  – площа  $j$ -того екокоридору;  $s_{buffz,k}$  – площа  $k$ -тої буферної зони;  $S_{reg}$  – площа регіону моделювання екомережі;  $n_{ncore}$  – кількість природних ядер;  $n_{ecor}$  – кількість екокоридорів;  $n_{buffz}$  – кількість буферних зон;

2) вже запропоновані **індекси щільності природних ядер** ( $I_{n,ncore}$ , 1/км<sup>2</sup>) та **екокоридорів** ( $I_{n,ecor}$ , км/км<sup>2</sup>) за виразами

$$I_{n,ncore} = n_{ncore} / S_{reg} , \quad (18)$$

$$I_{n,ecor} = L_{ecor} / S_{reg} , \quad (19)$$

де  $L_{ecor}$  – загальна довжина екокоридорів у регіоні (за їх осями), км;

3) вже запропонований **відносний індекс середнього розміру природного ядра у регіоні** ( $I_{s*,ncore,rel}$ ) та додані нами: **відносний індекс середнього розміру екокоридору** ( $I_{s*,ecor,rel}$ ) та два **абсолютні індекси середнього розміру ядра** ( $I_{s*,ncore,abs}$ , км<sup>2</sup>) та **екокоридору** ( $I_{s*,ecor,abs}$ , км<sup>2</sup>) за формулами

$$I_{s*,ncore,rel} = (\sum_{i=1}^{n_{ncore}} s_{ncore,i}) / n_{ncore} S_{reg} = I_{S,ncore} / n_{ncore} , \quad (20)$$

$$I_{s*,ecor,rel} = (\sum_{j=1}^{n_{ecor}} s_{ecor,j}) / n_{ecor} S_{reg} = I_{S,ecor} / n_{ecor} , \quad (21)$$

$$I_{s*,ncore,abs} = (\sum_{i=1}^{n_{ncore}} s_{ncore,i}) / n_{ncore} = I_{s*,ncore,rel} S_{reg} = I_{S,ncore} S_{reg} / n_{ncore} , \quad (22)$$

$$I_{s*,ecor,abs} = (\sum_{j=1}^{n_{ecor}} s_{ecor,j}) / n_{ecor} = I_{s*,ecor,rel} S_{reg} = I_{S,ecor} S_{reg} / n_{ecor} . \quad (23)$$

Індекси (22)-(23) застосовні і при віднесенні їх до підсистем екомережі шляхом простої зміни сум площ ядер і коридорів та їх кількості у регіоні на те ж саме для певної підсистеми екомережі;

4) запропонований нами **індекс перфорованості регіону екомережею** ( $I_{perf}$ ) за записом

$$I_{perf} = (n_{ncore} + n_{ecor}) (\sum_{i=1}^{n_{ncore}} s_{ncore,i} + \sum_{j=1}^{n_{ecor}} s_{ecor,j}) / S_{reg} = (n_{ncore} + n_{ecor}) (I_{S,ncore} + I_{S,ecor}) ; \quad (24)$$

5) запропонований нами **індекс умовної густоти екомережі** ( $I_{p/S,dum}$ , км/км<sup>2</sup>) за формулою

$$I_{p/S,dum} = (\sum_{i=1}^{n_{ncore}} p_{ncore,i} + \sum_{j=1}^{n_{ecor}} p_{ecor,j}) / S_{reg} , \quad (25)$$

де  $p_{ncore,i}$  – периметр  $i$ -того природного ядра;  $p_{ecor,j}$  – периметр  $j$ -того екокоридору;

6) запропонований нами **середній індекс складності форми природних ядер** ( $I_{(p/S)*}$ , км/км<sup>2</sup>), який може мати і відповідний аналог для підсистем екомережі, за формулою

$$I_{(p/S)*} = \left\{ \sum_{i=1}^{n_{ncore}} (p_{ncore} / s_{ncore})_i \right\} / n_{ncore} ; \quad (26)$$

7) запропоновані нами **індекси актуальної** ( $I_{spat,a}$ ) **та перспективної** ( $I_{spat,p}$ ) **просторовості екомережі** за формулами

$$I_{spat,a} = I_{S,ncore} + I_{S,ecor} + I_{buffz} , \quad (27)$$

$$I_{spat,p} = I_{spat,a} + \left( \sum_{l=1}^{n_{renz}} s_{renz,l} \right) / S_{reg} = I_{spat,a} + I_{renz} , \quad (28)$$

де  $s_{renz,l}$  – площа  $l$ -тої зони потенційної ренатуралізації;  $n_{renz}$  – кількість зон потенційної ренатуралізації;  $I_{renz}$  – індекс відносної площі цих зон.

Найбільш прийнятними для оцінювання ефективності функціонування екомережі є насамперед індекси (27)-(28), а також, частково, індекси (18-25) при певній їх трансформації, розширенні змісту та доповненні порівняльними індексами аналогічно до змісту індексів (27-28). По-друге, параметричну структурно-функціональну стійкість екомережі вже стосовно саме певних "ключових" елементів її структури можна оцінювати за **матрицею доступності вершин екомережного графа**, яка характеризує роль її ядер через набір відповідних топологічних індексів – Кеніга, Бавелаша, Ріда і ін., а також за синтетичними індексами значущості ядер і екокоридорів тощо. Ця матриця та індекси вичерпно описані у [4, 5] і є достатньо ефективними для сфери їх застосування, що виключає необхідність спеціального їх аналізу чи удосконалення. Слід лише не забувати про комплексне призначення щойно зазначених індексів, у т.ч. для уточнення місцезнаходження та узгодження підсистем екомережі (за їх наявності), і про те, що повнопараметричне використання синтетичних індексів значущості є досить складним завданням на рівні моделювання міжрегіональної та регіональної екомережі, яке напевно найбільш ефективно може бути вирішене при розробці локальних мереж.

Зведені відомості про критерії рівня природно-каркасної значущості та стану об'єктів моделювання екомережі наведені в таблиці 5.

**Висновки.** Розроблена схема критеріїв вимогового рівня природно-каркасної значущості та критеріїв бажаного рівня стану об'єктів моделювання за їх стійкістю, надійністю і ефективністю. Отримана схема критеріїв у запропонованому вигляді може бути використана для геоінформаційного моделювання екомережі в річкових басейнах на різних масштабних рівнях проектування.

#### Список літератури.

1. *Самойленко В.М.* Ймовірнісні математичні методи в геоecології / В.М. Самойленко. – К. : Ніка-Центр, 2002. – 404 с.
2. *Самойленко В.М.* Основи геоінформаційних систем. Методологія / В.М. Самойленко. – К. : Ніка-Центр, 2003. – 276 с.
3. *Самойленко В.М.,* Моделювання уболандшафтних басейнових геосистем / В.М. Самойленко, К.О. Верес. –

Таблиця 5 - Схема критеріїв рівня природно-каркасної значущості та стану об'єктів моделювання проектно-екомережі

Гіперклас / клас, тип (підтип) критеріїв	Вид (підвид) критеріїв		Основний результат вихідного застосування критеріїв
	Вербальні (змістовні)	Параметричні (метричні і/або топологічні)	
1	2	3	4
<i>Гіперклас критеріїв рівня стану об'єктів моделювання за стійкістю, надійністю та ефективністю функціонування:</i>			
1. Клас критеріїв стійкості *:			
1.1. Критерії фазової стійкості:			
1.1.1. фазово-антропоізаційної стійкості	Допустимість ступеня антропоізації природних об'єктів моделювання як необхідної міри їх "залишкової" здатності до саморегуляції	Комплексні індекси фазово-антропоізаційної стійкості об'єктів моделювання за (1) і категорії такої стійкості	Ступінь відповідності вимогам до рівня стану об'єктів моделювання за ознаками їх фазово-антропоізаційної стійкості
1.1.2. фазово-етологічної стійкості	Достатність міри сформованості (зв'язності) територіальної структури екомережі	Комплексні топологічні "екокоридорні" за (12) та "циклові" за (13) індекси сформованості екомережі і категорії фазово-етологічної стійкості	Ступінь відповідності вимогам до рівня стану екомережі за ознаками її фазово-етологічної стійкості
1.2. Критерії параметричної стійкості:			
1.2.1. параметрично-процесової стійкості	Допустимість інтенсивності заданих екоетативних для біоландшафтного різноманіття структуротвірних процесів у квазігеосистемах БЛТС	Індекси, у т.ч. комплексні, параметрично-процесової стійкості об'єктів моделювання за (14) і категорії такої стійкості	Ступінь відповідності вимогам до рівня стану квазігеосистем БТС за ознаками їх параметрично-процесової стійкості
1.2.2. параметричної структурно-функціональної стійкості	Достатність міри розвиненості екомережі за її основними елементами стосовно території її проектування і визначеність функціональної ролі окремих елементів екомережі в її структурі	Комплексні: метричні показники екомережі за (15)-(28); топологічні індекси (Бавелаша, Бічема, Ріда і ін.) за матрицею доступності вершин графа екомережі, а також синтетичні індекси значущості ядер і екокоридорів	Ступінь відповідності вимогам до рівня стану екомережі за ознаками її параметричної структурно-функціональної стійкості



Продовження таблиці 5

1	2	3	4
1.3. Специфічні критерії стійкості	Достатність розміру буферних зон для підтримання потрібного рівня стану елементів екомережі	Усереднені ширини буферних зон певних ядер чи екокоридорів	Необхідні розміри буферних зон екомережі
2. Клас критеріїв надійності:			
2.1. Критерії ітерації ступеня надійності	Достатність (оптимальність) міри надійності екомережі чи її елементів як міри здатності виконувати (посилювати) ними вимогові екопозитивні або обмежувати (ліквідувати) обрані еконегативні <i>ПСЕФ</i>	Ймовірність перевищення надійності об'єктів моделювання	Ступінь відповідності вимогам до рівня стану екомережі чи її елементів за ознаками їх надійності
2.2. Спрошені критерії надійності	Достатність міри надійності екомережі	Інтегральний умовний індекс надійності екомережі	Ступінь відповідності вимогам до рівня стану екомережі за ознаками її надійності
3. Клас критеріїв ефективності функціонування екомережі:			
3.1. Критерії актуальної ефективності	Достатня відповідність міри ефективності функціонування актуальної екомережі бажаним чи еталонним показникам, у т.ч. можливим показникам перспективної екомережі	Індекси ефективності	Ступінь ефективності функціонування актуальної екомережі
3.2. Критерії ефективності оптимізаційних рішень	Достатня ефективність оптимізаційних рішень з поліпшення рівня стану екомережі	Індекси, обернені до індексів ефективності	Ступінь ефективності оптимізаційних рішень з поліпшення рівня стану екомережі
* параметричні види критеріїв стійкості можна розділяти на підвиди за їх належністю до біоекосистемних (у т.ч. гідроекосистемних), геоекосистемних і/або комплексних критеріїв з відповідним частковим коригуванням визначень вербальних видів			



К.: Ніка-Центр, 2007. – 296 с. **4.** *Самойленко В.М.* Геоінформаційне моделювання екомережі / В.М. Самойленко, Н.П. Корогода. – К. : Ніка-Центр, 2006. – 224 с. **5.** *Шеляг-Сосонко Ю.Р.* Концепция, методы и критерии создания экосети Украины / Шеляг-Сосонко Ю.Р., Гродзинский М.Д., Романенко В.Д. – К. : Фитосоциоцентр, 2004. – 144 с. **6.** *Шищенко П.Г.* Принципы и методы ландшафтного анализа в региональном проектировании / П.Г. Шищенко. – К.: Фитосоциоцентр, 1999. – 284 с.

**Критерії рівня природно-каркасної значущості і стану об'єктів моделювання екомережі в річкових басейнах**

**Самойленко В.М., Корогода Н.П.**

*Розглянуті критерії необхідного рівня природно-каркасної значущості і критерії бажаного рівня стану об'єктів моделювання екологічної мережі в річкових басейнах для різних територіальних рівнів проектування.*

**Ключові слова:** екомережа, геоінформаційне моделювання, критерії рівня природно-каркасної значущості та стану.

**Критерии уровня природно-каркасной значимости и состояния объектов моделирования экосети в речных бассейнах**

**Самойленко В.М., Корогода Н.П.**

*Рассмотрены критерии необходимого уровня природно-каркасной значимости и критерии желательного уровня состояния объектов моделирования экологической сети в речных бассейнах для разных территориальных уровней проектирования.*

**Ключевые слова:** экосеть, геоинформационное моделирование, критерии уровня природно-каркасной значимости и состояния.

**The identification criteria of ecological network modeling objects in river basins**

**Samoylenko V.M., Korogoda N.P.**

*The natural-frame significance level and state criteria of ecological network modeling objects in river basins were reviewed for different territorial levels of design.*

**Keywords:** ecological network, geo-informative modeling, criteria of natural-frame significance level and state.

*Надійшла до редколегії 25.02.10*

УДК 556.124

**Лобода Н.С., Сіренко А.М.**

*Одеський державний екологічний університет*

## **ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИК ПРОГНОЗУВАННЯ ЛЬДОВИХ ЯВИЩ НА РІЧКАХ УКРАЇНИ НА ОСНОВІ МЕТОДІВ БАГАТОВИМІРНОГО СТАТИСТИЧНОГО АНАЛІЗУ**

**Ключові слова:** гідрологічні прогнози; льодові явища; Північно-Атлантичне коливання; факторний аналіз; дискримінантна функція

**Вступ.** Гідрологічні прогнози появи льодових явищ будуються, як правило, на основі фізико – статистичних залежностей [1], в яких основним предиктором є температура води  $\nu_0$  під час переходу температури повітря

**Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2010. – Т.3(20)**